

**УДК 57.087: 617.57**

*В.В. Терещенко, студент гр. ПБ-82, к.т.н., доц. Вонсевич К.П.*

*КПІ ім. Ігоря Сікорського*

## **СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ РУХІВ У БІОНІЧНОМУ ПРОТЕЗУВАННІ КІНЦІВОК**

**Анотація.** У роботі проведено аналіз систем розпізнавання рухів у біонічному протезуванні та методів дослідження природних сигналів тіла людини, які використовуються при створенні подібної апаратури. Наведено принципову схему системи розпізнавання рухів та описано принципи її функціонування. Проаналізовано ефективність застосування таких пристроїв для вирішення практичних завдань.

**Ключові слова:** біонічне протезування, штучні кінцівки, розпізнавання рухів, методи вимірювання біологічних сигналів.

### **ВСТУП**

Основна мета біонічного протезування полягає у створенні штучних частин тіла, які могли б відтворити функціонал здорових систем людського організму із найбільш можливою точністю. Водночас, одним із найбільш важливих завдань сучасного протезування кінцівок є підвищення точності розпізнавання біологічних сигналів тіла пацієнта. Враховуючи нестаціонарну природу таких сигналів і наявність різноманітних шумів та завад, що виникають підчас вимірювання необхідних показників при активній фізіологічній діяльності пацієнта, навіть новітні спеціалізовані системи не можуть забезпечити ідеальну точність відтворення значного набору функціональних рухів.

На фінальне рішення системи, яка повинна забезпечити розпізнавання певних рухів, впливає багато факторів. Наприклад: обраний метод дослідження біологічних сигналів, кількість вимірювальних каналів, точність позиціонування вимірювальних сенсорів, вид та кількість характеристик сигналу, по яким буде проведено оцінювання, обраний метод машинного навчання за допомогою якого проводиться класифікація і його проміжні параметри.

При цьому, серед методів дослідження, що використовуються для розпізнавання сигналів тіла пацієнта у протезуванні можна виділити: електроміографію, електроенцефалографію, електронейрографію, форс-міографію, електрично-імпедансну томографію, ультразвукові дослідження, тощо [1; 2]. Кожен із перерахованих методів має свої обмеження та переваги, але нажалі, за винятком електроміографії, переважна більшість із них все ще застосовується здебільшого у лабораторних умовах, без промислового впровадження.

Метою цієї роботи є огляд основних методів дослідження та аналіз ефективності їх застосування у сучасних системах розпізнавання рухів для біонічного протезування верхніх кінцівок.

### **МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ**

Як було зазначено у попередньому розділі, ефективність систем розпізнавання рухів у протезуванні залежить від багатьох факторів. Один із них – це можливості вимірювальної апаратури, що застосовується при реєстрації

біологічних сигналів. Кількість вимірювальних каналів і тип сенсору, що буде застосовано у загальній системі протезу, обирається залежно від методу проведення досліджень, виду біологічного сигналу з яким працюватиме протез та кінцевої мети розробки.

Метод електроміографії передбачає вимірювання природного сигналу шляхом визначення електричної активності нервових закінчень м'язу, або його ступеню провідності [3]. Для таких досліджень зазвичай використовують поверхневі гелеві електроди, які розміщують на шкірі пацієнта над поверхнею певної групи м'язів, що обирається залежно від типу руху, який розпізнається системою або фізіологічних особливостей м'язового апарату пацієнта. Метод електроенцефалографії базується на дослідженні біоелектричних потенціалів мозку людини за допомогою сенсорів, які розміщуються на голові пацієнта [4]. Ці датчики створені для вимірювання найменших електромагнітних імпульсів, що виникають при виконанні рухів з метою подальшого перетворення сигналу на основному обладнанні. Метод форс-міографії базується на реєстрації параметрів тиску м'язів на вимірювальну поверхню сенсору підчас виконання рухів [5]. Зазвичай при проведенні форс-міографії використовується багатоканальні вимірювальні системи, які дозволяють проводити так званий топографічний розподіл прикладеної сили відносно місця розташування сенсорів. Метод електрично-імпедансної томографії полягає у визначенні розподілу питомого електричного опору всередині біологічного середовища у процесі виконання рухів чи жестів кінцівки [6]. Сенсори вимірюють напругу, яка створена завчасно відомим значенням інжектowanego струму. На основі цих даних проходиться розрахунок питомого електричного опору або провідності відповідної тканини. Метод ультразвукових досліджень кукси пацієнта полягає у дослідженні акустичного сигналу отриманого внаслідок м'язової активності кінцівки з подальшим перетворенням його у набір зображень для їх розпізнавання і класифікації згідно заданого набору рухів [7]. Однак, як самостійний метод досліджень, ультразвукові вимірювання у біонічному протезуванні кінцівок використовуються не часто, адже вони обмежені дороговизною і габаритністю вимірювальних модулів, а також складністю обробки вихідного сигналу.

Варто зазначити, що вибір методу досліджень для системи біонічного протезу не обов'язково повинен обмежуватись лише одним варіантом та іноді передбачає комбіноване використання декількох видів сенсорів та методів дослідження біологічного сигналу в одній системі. Водночас, загальний принцип побудови системи розпізнавання рухів для біонічного протезу кінцівки є подібним незалежно від обраного методу вимірювання біологічних сигналів та зображень на рис. 1.

Як видно з рис.1 такі системи зазвичай містять у своєму складі: масив сенсорів, різноманітні схеми підсилення та обробки виміряних сигналів, блок передачі інформації та класифікатор, який надсилає інформацію про виконаний рух до системи керування протезу. Класифікатор (програмно-технічний модуль, з впровадженням алгоритмом машинного навчання) призначений для

співставлення вхідних біологічних сигналів із набором визначених категорій рухів здорової кінцівки, які повинна відтворити система керування протезу.

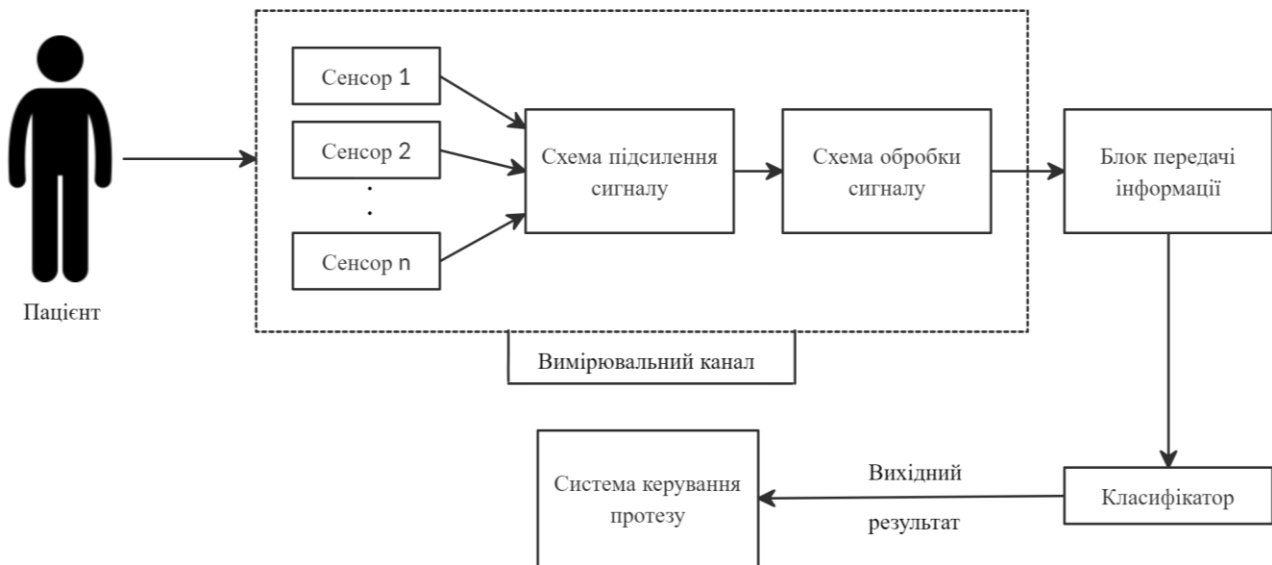


Рисунок 1. Узагальнена принципова схема системи розпізнавання рухів

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Аналізуючи ефективність застосування розглянутих методів вимірювання біологічних сигналів для систем розпізнавання рухів біонічних кінцівок, можна відмітити досить значну різницю у результатах при їх практичному використанні. Наприклад, у роботі [5] застосування 8-ми форс-міографічних каналів для розпізнавання 6-ти видів руху кінцівки дозволило досягти точності у 98,2%. В той час як застосування методу електрично-імпедансної томографії [6] дало результат 94% при класифікації 10 жестів за допомогою 10-ти вимірювальних каналів. Автори дослідження [3] змогли досягти ефективності 97,4% при розпізнаванні елементів корейської мови жестів за допомогою 8-ми електроміографічних каналів. Саме тому, перспективною є розробка системи розпізнавання на основі комбінованого застосування різних методів вимірювання біологічних сигналів, що може бути використана у біонічному протезуванні кінцівок.

У цій статті авторами було проаналізовано основні принципи побудови систем розпізнавання рухів для біонічного протезування. Зокрема, проаналізовано сучасні методи вимірювання біологічних сигналів тіла пацієнта, показано основні складові типової системи, проведено порівняння ефективності практичного застосування окремих методів розпізнавання рухів у біонічному протезуванні.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Vonsevych, K., Goethel, M. F., Mrozowski, J., Awrejcewicz, J., & Bezuglyi, M. (2019). Fingers movements control system based on artificial neural network model. *Radioelectronics and Communications Systems*, 62(1), 23-33.

- [2] Vonsevych, K. P., Bezuglyi, M. O., & Haponiuk, A. O. (2018). Evaluation of Electromyogram Time Characteristics of the Wrist Functional Movements for Intuitive Control of Bionic Prosthesis. *Naukovi Visti NTUU KPI*, (1), 45-53.
- [3] M. Ariyanto, W. Caesarendra, K. A. Mustaqim, M. Irfan, J. A. Pakpahan, J. D. Setiawan, A. R. Winoto, "Finger movement pattern recognition method using artificial neural network based on electromyography (EMG) sensor, ICACOMIT, 29-30 Oct 2015, Bandung, Indonesia (IEEE, 2015), pp. 12-17.
- [4] EEG Mind Controlled Smart Prosthetic Arm – A Comprehensive Study / T. Beyrouthy, S. A. Kork, M. Abouelela, J. A. Korbane. // *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*. – 2017. – С. 891–899.
- [5] X. Jiang, L. Merhi, Z. Xiao and C. Menon, "Exploration of Force Myography and surface Electromyography in hand gesture classification", *Medical Engineering & Physics*, vol. 41, pp. 63-73, 2017.
- [6] Y. Zhang and C. Harrison, "Tomo: Wearable, Low-Cost Electrical Impedance Tomography for Hand Gesture Recognition", in *Proc. of the 28th Annual ACM Symposium on User Interface Software & Technology - UIST '15*, 2015
- [7] Rushkevich Y. N. Muscle ultrasound imaging in the diagnosis of amyotrophic lateral sclerosis / Y. N. Rushkevich, G. V. Zabrodets, S. A. Likhachev. // *Neuromuscular Diseases*. – 2014. – С. 30–36.

***Наук. керівник – к.т.н., доц. Вонсевич К.П.***